

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft



Zwischenbericht 2009 zum Teilprojekt 1

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

Themenblatt-Nr.: 42.27.430

Dieses Vorhaben wird vom BMELV über die FNR gefördert und seitens der TLL koordiniert.
(FKZ:22013008)

Langtitel: **Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA II)**

Kurztitel: **Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime**

Projekt:

Projektleiter: Dr. habil. A. Vetter

Abteilung: 400

Abteilungsleiter: Dr. habil. A. Vetter

Laufzeit: 01.02.2009 – 31.01.2012

Auftraggeber: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)

Namen der Bearbeiter: Dr. Arlett Nehring
Dipl.-Ing. (FH) D. Freund (Fruchtfolgeversuch)
Dipl.-Ing. (FH) Maren Oswald (Gärrestversuch)

Analyse Bodenmikrobiologie: Dr. Sabine Tischer
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Bodenbiogeochemie; Martin-Luther-Universität Halle

Jena, im März 2010

(P. Ritschel)
Präsident

(Dr. A. Vetter)
Projektleiter

INHALTSVERZEICHNIS

1	ÜBERBLICK ÜBER DEN STANDORT	5
2	WITTERUNGSVERLAUF	6
3	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	6
4	DATENERHEBUNG	6
5	ERGEBNISSE	7
6	BESONDERHEITEN / STAND DER ARBEITEN	10
7	UNTERSUCHUNGEN ZUR BODENMIKROBIOLOGIE - AUSWIRKUNGEN DES ENERGIEPFLANZENANBAUS AUF DIE BODENEIGENSCHAFTEN BEI UNTERSCHIEDLICHER BODENBEARBEITUNG	10
8	LITERATUR	13
9	ANHANG	13

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1:</i>	<i>Fruchtfolgen 2009</i>	<i>5</i>
<i>Tabelle 2:</i>	<i>Trockenmasseerträge am Standort Dornburg 2009 bei konventioneller und minimaler Bodenbearbeitung</i>	<i>7</i>
<i>Tabelle 3:</i>	<i>Düngungsstufen im großen Gärrestversuch</i>	<i>9</i>
<i>Tabelle 4:</i>	<i>Düngungsstufen im kleinen Gärrestversuch</i>	<i>10</i>
<i>Tabelle 5:</i>	<i>Analysierte bodenchemische und bodenbiologische Parameter</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 6:</i>	<i>Übersicht über die Fruchtfolgen</i>	<i>11</i>

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1:</i>	<i>Witterungsverlauf 2009</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 2:</i>	<i>Vergleich der Trockenmasseerträge am Standort Dornburg, Bodenbearbeitung Pflug, kein Anbau von Topinambur in der All</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 3:</i>	<i>Vergleich der Trockenmasseerträge am Standort Dornburg, Minimalbodenbearbeitung, FF 5 SG - Ertrag nicht plausibel, kein Anbau von Topinambur</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4:</i>	<i>Trockenmasseerträge großer Gärrestversuch, 2009, Standort Dornburg</i>	<i>9</i>

1 ÜBERBLICK ÜBER DEN STANDORT

Der Versuchsstandort Dornburg liegt auf einer Höhe von 205 - 270 m über NN und zeichnet sich durch ein Temperaturmittel von 8,8 °C und ein Niederschlagsmittel von 596 mm aus. Der Standort ist durch eine Lössauflage auf Muschelkalk charakterisiert und gehört mit seiner Randlage am Thüringer Becken zu den Lössstandorten in den Übergangslagen. Bei der vorherrschenden Bodenart handelte es sich um stark tonigen Schluff (U_{t4}), die Ackerzahl liegt bei 65.

Der Fruchtfolgeversuch wurde 2009 mit acht Fruchtfolgen und zwei Bodenbearbeitungsvarianten (konventionell, minimal) angelegt (Tabelle 1). Zur Präzisierung der Ergebnisse erfolgte im Frühjahr 2010 nochmals die Anlage des Fruchtfolgeversuches (sieben Fruchtfolgen). Die Bodenbearbeitung wurde in diesen Versuch nicht wieder mit einbezogen, jedoch wird im angelegten Versuch eine konventionelle Bodenbearbeitung durchgeführt um die Vergleichbarkeit zum Anlagejahr 2009 zu gewährleisten. Als Versuchsanlage wurde im Versuchsjahr 2009 eine zweifaktorielle Spaltanlage (A/B-Block) gewählt. Hierfür erfolgte die Teilung der Versuchsfläche in Großteilstücke und Kleinteilstücke. Auf dem Großteilstück wird der Prüffaktor mit dem größeren Flächenanspruch (Bodenbearbeitung) geprüft, während gleichzeitig die Stufen des zweiten Faktors (Fruchtarten) als Kleinparzelle in der Großparzelle zu liegen kommen. Im Frühjahr 2010 wurde der Versuch als einfaktorielle Blockanlage (A-Block) angelegt.

Tabelle 1: Fruchtfolgen 2009

Anlage III Anlage IV	2009 2010 1. Jahr	2010 2011 2. Jahr	2011 2012 3. Jahr	2012 2013 4. Jahr
FF 1	Wintergerste / Sudangras (SZF)	Mais	Wintertriticale (GPS) / SZF Ölrettich	Winterweizen (Korn)
FF 2	Sudangras / Futterroggen (WZF)	Mais (ZF)	Wintertriticale (Korn)	Winterweizen (Korn)
FF 3	Mais / Futterroggen (WZF)	Sudangras (ZF)	Wintertriticale (GPS) /Einjähriges Weidelgras	Winterweizen (Korn)
FF 4	Hafersorten- mischung	Wintertriticale (GPS)	Winterraps (Korn)	Winterweizen (Korn)
FF 5	Sommergerste / US Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Winterweizen (Korn)
FF 6	Hafer (GPS)	Artenmischung WT,WW (GPS)	Winterraps (Korn)	Winterweizen (Korn)
FF 7	Energiemais	Energiemais	Energiemais	Winterweizen (Korn)
FF 8	Topinamburkraut	Topinamburkraut	Topinamburkraut	Topinamburkraut- und knolle

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse aus der vorangegangenen Projektphase erfolgte eine Umstellung der Fruchtfolge 1. Zum einen wurde die Sommergerste durch eine Winterung ersetzt und zum anderen die Anbauabfolge in der Fruchtfolge verändert. So wird nach Wintergerste Sudangras als Sommerzwischenfrucht angebaut und nach Wintertriticale (GPS) Ölrettich, welcher zur Humusreproduktion auf der Fläche verbleibt. Des Weiteren wurden die Fruchtfolgen 4 und 5 getauscht, um einen achtjährigen Anbau von Luzernegras auf der Fläche zu vermeiden. Die Wintergetreideartenmischung in Fruchtfolge 6 setzt sich nur noch aus Wintertriticale und Winterweizen zusammen. Zusätzlich wurde die ertragsstarke Fruchtfolge 3 in räumlicher Nähe des Fruchtfolgeversuches nochmals angelegt, um den Einfluss der Gärrestdüngung (100% Gärrest; 50 % Gärrest + 50 % mineralisch) auf die Ertragsentwicklung im Vergleich zur mineralischen Düngung (100 % mineralisch) zu testen (kleiner Gärrestversuch). Parallel dazu wurde der große Gärrestversuch mit den Fruchtarten Mais und Wintertriticale angelegt. Im Mais werden sieben (50, 75, 100, 125, 200 % Gärrest; 100 % mineralisch; Nullvariante) und in Wintertriticale fünf (75, 100, 125 % Gärrest; 100 % mineralisch; 100 % Gärrest-Ausbringung 20 % als Herbstgabe und 80 % im Frühjahr) verschiedene Düngungsstufen betrachtet. Der eingesetzte Gärrest besteht aus Rindermist, Gerstenschrot und Maissilage. Die mineralische Düngung der Kulturen erfolgte nach SBA und bei der Gärrestdüngung wurde ein MDÄ von 70 % unterstellt. Weitere Verluste, wie z.B. bei der Lagerung oder Ausbringung sollten nicht angesetzt werden, da diese bereits bei einem MDÄ von 70 % berücksichtigt sind.

2 WITTERUNGSVERLAUF

Im Frühjahr 2009 konnte ein rascher Temperaturanstieg beobachtet werden. So wurden im April 11,6 °C gemessen und Niederschläge zwischen 67,9 und 70,9 mm erreicht. In den darauf folgenden Monaten ist die Temperatur allmählich angestiegen, wohingegen die Monate Juni und August sehr trocken waren. Im Vergleich dazu zeichnet sich der Juli mit einem hohen Niederschlag von 84,3 mm aus. Ab September kommt es bis zum Jahresende zum langsamen Rückgang der Temperaturen, jedoch fallen von September bis Oktober Niederschläge zwischen 55,2 und 77,2 mm

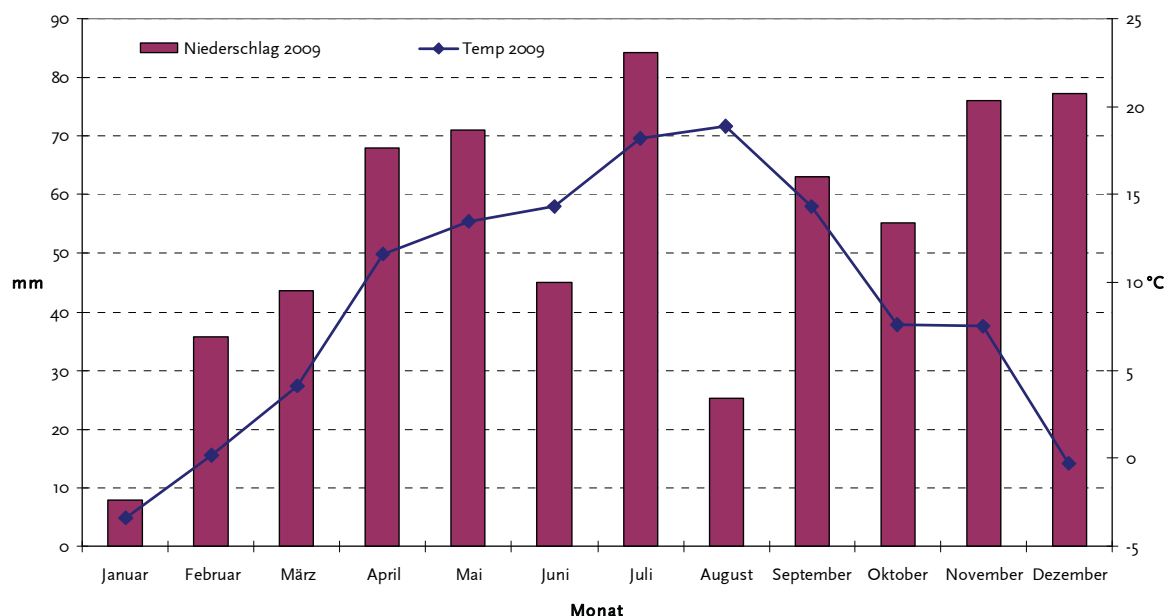


Abbildung 1: Witterungsverlauf 2009

3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Bereits im Herbst 2008 erfolgte auf der Versuchfläche eine fruchtartenspezifische P- und K-Düngung, wobei hier die entsprechenden Gehaltsklassen berücksichtigt wurden. Bei P lagen die Gehaltsklassen zwischen D und E, wohingegen bei K überwiegend C und D erreicht wurden. Die Stickstoffdüngung der einzelnen Fruchtarten erfolgte nach Bodenuntersuchung entsprechend der SBA-Methode.

Die Aussaat der einzelnen Fruchtarten wurde zu ortsüblichen Terminen durchgeführt. Nach guter fachlicher Praxis kamen am Standort die üblichen Fungizide und Herbizide entsprechend der Befallssituation zum Einsatz. Das Sudangras in den Fruchtfolgen 1 und 2 konnte nur einen ungleichmäßigen Bestand entwickeln, was zur Folge hatte, dass ein starker Unkrautdruck in Form von Hirsen im Bestand auftrat. Die Bekämpfung mit Gardo Gold erwies sich an dieser Stelle als schwierig. Des Weiteren konnten ein verstärkter Blattlausbefall und ein hohes Aufkommen von Braunrost im Winterweizen beobachtet werden. Gegen den Blattlausbefall wurden 0,2 kg/ha Pirimor eingesetzt.

4 DATENERHEBUNG

Während der Vegetationszeit werden im Pflanzenbestand umfangreiche Bonituren durchgeführt, um Aussagen über den Krankheits- und Schädlingsbefall bzw. die Unkrautentwicklung bei den unterschiedlichen Bodenbearbeitungsvarianten zu machen. Die Überwachung der Bestandesdaten basiert weitestgehend auf den für die Sortenprüfung vorgeschriebenen Verfahren nach BSA-Richtlinie. Die angewandten Methoden können aus dem Boniturhandbuch unter www.tll.de/vbp entnommen werden.

Der Einfluss der Energiefruchtfolgen auf die Bodenfruchtbarkeit soll durch umfangreiche Bodenuntersuchungen dokumentiert werden. Hierfür werden zu Vegetationsbeginn, nach Ernte und zu Vegetationsende Proben in drei Tiefen je Prüfglied entnommen.

Neben der Ertragserfassung mittels Parzellenmähdrescher bzw. -häcksler, erfolgen umfangreiche Inhaltsstoffanalysen am Erntegut. Diese sind Grundlage zur Ermittlung der Methangasausbeute bzw. dienen zur Berechnung der Nährstoff- und Humusbilanz.

5 ERGEBNISSE

Fruchtfolgeversuch

Im Versuchsjahr 2009 konnte im Mittel der Bodenbearbeitungsvarianten mit Mais (172 dt TM/ha) der höchste Ertrag erzielt werden, dicht gefolgt von Wintergerste (136 dt TM/ha), Sudangras (124 dt TM/ha) und Topinamburkraut (124 dt TM/ha). Die Sommergetreidearten erreichten Erträge zwischen 91 und 131 dt TM/ha, wobei hier die Hafersortenmischung einen mit Wintergerste vergleichbaren Ertrag erzielte. Die Trockensubstanzgehalte der einzelnen Fruchtarten lagen im optimalen Bereich zwischen 28 und 38 %. Signifikante Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten konnten hinsichtlich der Ertragsentwicklung nicht herausgestellt werden.

Tabelle 2: Trockenmasseerträge am Standort Dornburg 2009 bei konventioneller und minimaler Bodenbearbeitung

FA	FF	Datum	Ertrag dt/ha		TS-Gehalt %	
			konventionell	minimal	konventionell	minimal
WG	1	03.06.2009	136	136	33	34
Sudangras (SZF)	1	07.10.2009	76	76	25	32
Sudangras (HF)	2	07.10.2009	130	118	29	28
Mais (HF)	3	19.09.2009	182	175	30	29
HSM	4	16.07.2009	125	137	32	32
SG	5	16.07.2009	98	*	35	*
Luzernegras	5	09.10.2009	11	21	23	27
Hafer	6	16.07.2009	111	91	30	32
Mais (HF)	7	19.09.2009	167	162	30	30
Topi. Kraut	8	21.10.2009	124	k.A.	29	

k. A. - kein Anbau; *- Wert nicht plausibel

Vergleichende Betrachtung der Erträge

Die vergleichende Ertragsbetrachtung der einzelnen Anlagen (AI-2005; AII-2006; AIII-2009) lässt starke Schwankungen der Erträge über die Versuchsjahre erkennen. Allerdings sind diese nicht auf agrotechnische Veränderungen zurückzuführen, da bei der Sortenwahl, Aussaatmenge und -zeitpunkt nur geringfügige Veränderungen vorgenommen wurden. Lediglich die Düngung wurde entsprechend der Bodenuntersuchung und dem Entzug der einzelnen Kulturen angepasst.

In der Fruchtfolge 1 konnte bereits im Versuchsjahr 2009 durch den Austausch der Sommergerste gegen Wintergerste eine deutliche Ertragsteigerung erzielt werden. Des Weiteren wurden gute Erträge mit dem darauf folgenden Sudangras erreicht. Diese Aussage gilt für beide Bodenbearbeitungsvarianten (Abbildung 2 und 3 FF 1).

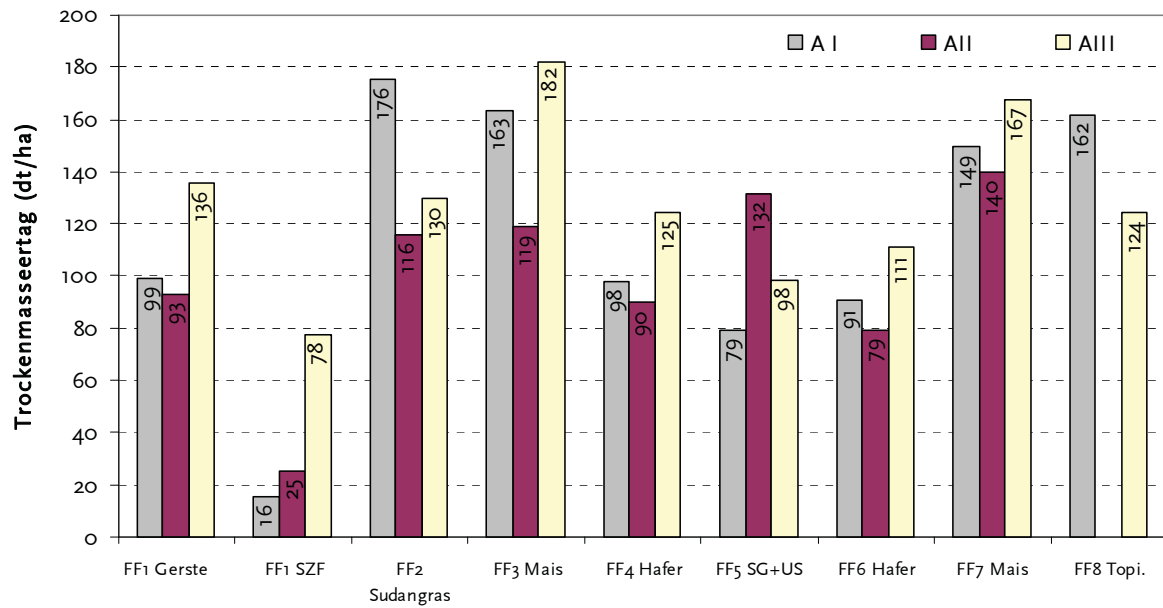


Abbildung 2: Vergleich der Trockenmasseerträge am Standort Dornburg, Bodenbearbeitung Pflug, kein Anbau von Topinambur in der A II

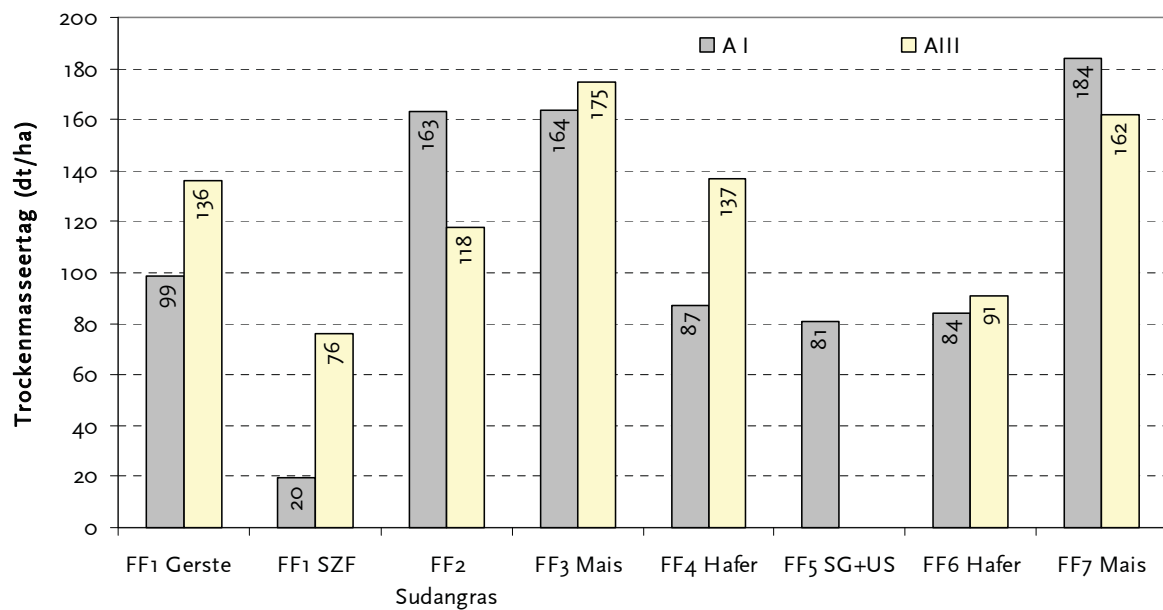


Abbildung 3: Vergleich der Trockenmasseerträge am Standort Dornburg, Minimalbodenbearbeitung, FF 5 SG - Ertrag nicht plausibel, kein Anbau von Topinambur

Gärrestversuch

Im großen Gärrestversuch wurden 2009 die Fruchtarten Mais und Wintertriticale angebaut. Für die Düngung sind die Sollwerte von 190 bzw. 160 kg N eingeflossen, wobei ein N_{\min} -Gehalt von 24 bzw. 16 kg im Boden vorlag. In Tabelle 3 sind die Düngungsstufen nach Gesamtstickstoff (N_{ges}) und pflanzenverfügbaren Stickstoff (N_{pv}) dargestellt.

Tabelle 3: Düngungsstufen im großen Gärrestversuch

	Mais		Wintertriticale	
	N_{ges}	N_{pv}	N_{ges}	N_{pv}
100 % min.	166	166	144	144
0 % Gärr	0	0		
50 % Gärr	95	67		
75 % Gärr	143	100	120	84
100 % Gärr	190	133	160	112
125 % Gärr	238	166	195	137
200 % Gärr	380	266		

Anhand der Erträge (Abbildung 3) wird ersichtlich, dass mit der mineralischen Düngung und der Gärrestvariante 125 % die höchsten und innerhalb der Fruchtarten annähernd gleiche Erträge erzielt wurden. Die Erhöhung der Gärstdüngung bei Mais auf 200% hatte keine Ertragssteigerung zur Folge. Nach beiden Fruchtarten wird Winterweizen angebaut um herauszustellen, ob Nachwirkungen der Gärstdüngung auftreten. Bei dem Winterweizen erfolgt 2010 ausschließlich eine mineralische Düngung.

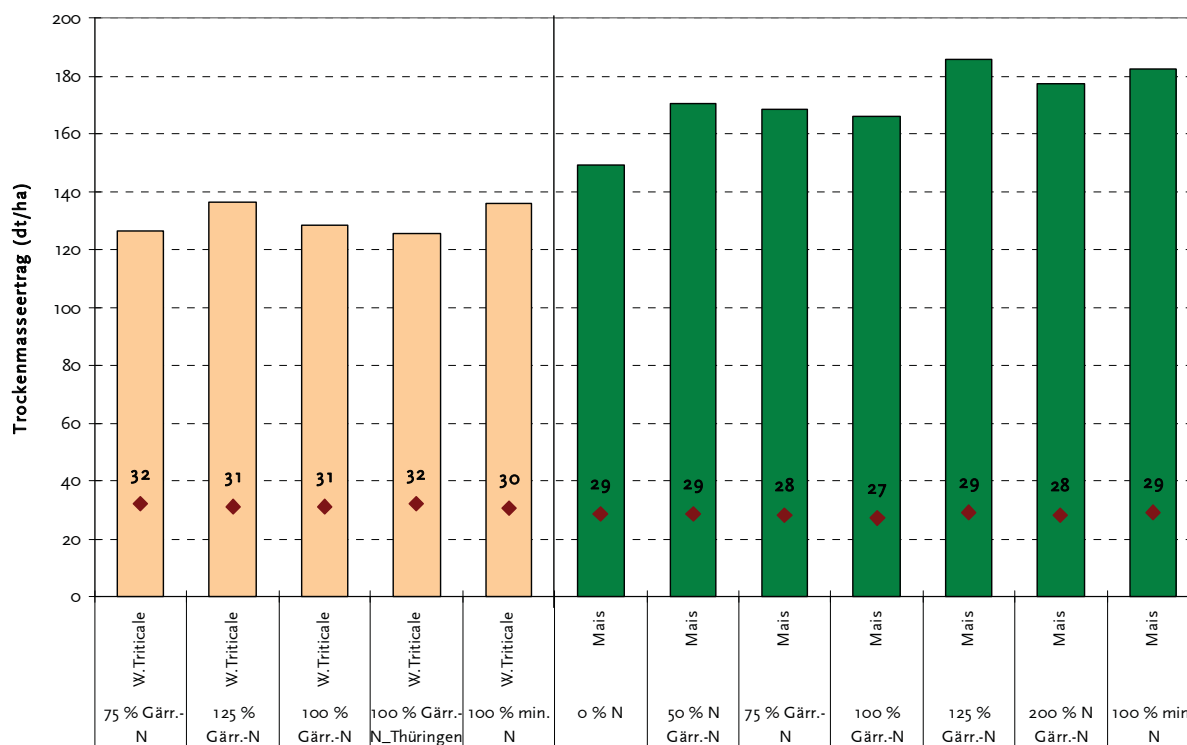


Abbildung 4: Trockenmasseerträge großer Gärrestversuch, 2009, Standort Dornburg

Im kleinen Gärrestversuch wird die Fruchtfolge 3 aus dem Fruchtfolgeversuch bei unterschiedlicher Düngung betrachtet. Im Versuchsjahr 2009 wurden die zwei parallel angelegten Fruchtfolgen mit Winterweizen bzw. Mais begonnen. In Tabelle 4 sind die Düngungsstufen dargestellt. Bei Winterweizen lag der N_{\min} -Gehalt bei 23 kg und bei Mais bei 41 kg.

Tabelle 4: Düngungsstufen im kleinen Gärrestversuch

	Mais		WW	
	N_{ges}	N_{pv}	N_{ges}	N_{pv}
100 % min.	149	149	146	146
50 % min.+ 50% Gär	170	145	158	134
100 % Gär	190	133	169	118

Insgesamt wurde in den organischen Varianten (100% und 50/50) weniger pflanzenverfügbarer Stickstoff ausgebracht als in der mineralischen Variante. Die Erträge unterscheiden sich innerhalb der Fruchtarten und Düngungsstufen aber nur gering. Winterweizen erzielte einen durchschnittlichen Kornertrag von 65 dt und Mais einen Ganzpflanzenertrag von 176 dt TM bei 28 % TS. Es konnte beobachtet werden, dass der Winterweizenenertrag bei der reinen organischen Düngung etwas zurückging. Laut Düngeverordnung ist eine 100 %-ige Bedarfsdeckung mit organischen Düngern möglich, aber aus Gründen der Ertragssicherheit und des Umweltschutzes ist eine Kombination mit Mineraldüngern zu empfehlen.

6 BESONDERHEITEN / STAND DER ARBEITEN

Im Frühjahr 2009 konnte die Aussaat der Kulturen termingerecht vorgenommen werden. Dies gilt ebenso für die Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen. Durch die hohen Niederschläge und die schlechte Befahrbarkeit der Fläche verzögerte sich jedoch die Aussaat der Winterrungen erheblich. Die Aussaat erfolgte schließlich am 28./29.10.2009. Die Kulturen sind dann mit BBCH 12 in den Winter gegangen. Die Bonitur der Bestandesdichte nach Winter und des Bedeckungsgrades ermöglichte eine Einschätzung der Mängel im Stand nach Winter. Für die Varianten in denen eine Bodenbearbeitung mit dem Pflug erfolgte, musste die Boniturnote 6 bis 7 vergeben werden.

Im Frühjahr 2010 konnten die Arbeiten entsprechend der Witterungsverhältnisse zeitnah durchgeführt werden. Die Entnahme der Bodenproben und die Düngung ist erfolgreich durchgeführt worden. Zurzeit erfolgen die Vorbereitungen zur Aussaat der Sommerkulturen.

7 UNTERSUCHUNG ZUR BODENMIKROBIOLOGIE – AUSWIRKUNGEN DES ENERGIEPFLANZENANBAUS AUF DIE BODENEIGENSCHAFTEN BEI UNTERSCHIEDLICHER BODENBEARBEITUNG

Die Nutzung alternativer Energiequellen hat weiterhin eine hohe Bedeutung, wobei das Interesse der Forschung hauptsächlich in der Untersuchung und Bewertung von Anbauverfahren, Biomasseproduktion und Verwertungsmöglichkeiten liegt. Wenig Beachtung wird momentan der Veränderung bodenchemischer und -biologischer Eigenschaften geschenkt. Für die Gewinnung genauerer Erkenntnisse der Veränderung der Bodeneigenschaften werden am Standort Dornburg im bestehenden Fruchtfolgeversuch Bodenproben entnommen und analysiert. An dieser Stelle soll geklärt werden, ob der Anbau von Energiepflanzen bei unterschiedlicher Bewirtschaftung mikrobiologische Veränderungen zur Folge hat.

Die Bestimmung bodenbiologischer Parameter wird immer häufiger als Ergänzung zu den üblicherweise erhobenen chemischen und physikalischen Bodenkennwerten durchgeführt, um z.B. Standorte mit unterschiedlicher Bewirtschaftung zu charakterisieren.

Tabelle 5: Analysierte bodenchemische und bodenbiologische Parameter

	Parameter	Maßeinheit	Methode
Bodenchemische Parameter	org. Kohlenstoff (C_{org})	%	DIN ISO 10694
Bodenmikrobiologische Parameter	Basalatmung	$\mu\text{g CO}_2 \text{ C g}^{-1} \text{ Boden}$	Anderson u. Domsch (1978); DIN ISO 16072
	Mikrobielle Biomasse (C_{mic})	$\mu\text{g C g}^{-1} \text{ TS}$	Anderson u. Domsch (1978); DIN ISO 14240-1
	Katalase (EC-Nr. 1.11.1.7) Intrazellulärer Stoffwechsel		Beck (1971)
	β -Glukosidase (EC-Nr. 3.2.1.2.1) C-Kreislauf, Abbau von Cellobiosen	$\mu\text{g Saligenin g}^{-1} \text{ TS}$	Hoffmann u. Dedeken (1965) mod. nach Tischer (1992)
	Argininammonifiaktion N-Kreislauf, Abbau von Aminosäuren	$\mu\text{g N g}^{-1} \text{ TS}$	Schinner et al. (1993)
	Alkalische Phosphatase (EC-Nr. 3.1.3.1) P-Kreislauf, Abbau org. P-Verbindungen		

Aus dem Fruchtfolgeversuch werden bei beiden Bodenbearbeitungsvarianten Proben aus den Fruchtfolgen 1, 3, 4, und 5 entnommen, wobei die Entnahme in drei Tiefen (0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 cm) erfolgt. Im Herbst 2008 wurde der Ist-Zustand der Fläche bestimmt. In den darauf folgenden Jahren werden jeweils im Frühjahr und Herbst die Proben entnommen.

Tabelle 6: Übersicht über die Fruchtfolgen

Anlage III	2009 1. Jahr	2010 2. Jahr	2011 3. Jahr	2012 4. Jahr
FF 1	Wintergerste / Sudangras (SZF)	Mais	Wintertriticale (GPS)/ SZF Ölrettich	Winterweizen (Korn)
FF 3	Mais / Futterroggen (WZF)	Sudangras (ZF)	Wintertriticale (GPS) /Einjähriges Weidelgras	Winterweizen (Korn)
FF 4	Hafersorten- mischung	Wintertriticale (GPS)	Winterraps (Korn)	Winterweizen (Korn)
FF 5	Sommergerste / US Luzernegras	Luzernegras	Luzernegras	Winterweizen (Korn)

Erste Ergebnisse

Die Charakterisierung der mikrobiellen Aktivität im Boden ist anhand des metabolischen Quotienten ($q\text{CO}_2$) und dem Verhältnis des mikrobiellen Kohlenstoffs zur organischen Bodensubstanz (C_{mic}/C_{org} -Verhältnis) möglich.

Ab Herbst 2008 erfolgte, vier Jahre nach der Umstellung der Bodenbearbeitung, erstmalig die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse (C_{mic}) im Boden (Anhang 1). Es wurden im Mittel der Tiefen Werte zwischen 166,14 und 252,39 $\mu\text{g C g}^{-1} \text{ TS}$ erreicht, wobei bei der Pflugvariante eine gleichmäßige Verteilung der C_{mic} über die Tiefen zu erkennen ist. Bei der Minimalbodenbearbeitung konnten höhere Werte, vor allem in der Tiefe 0 - 10 cm beobachtet werden. Die mikrobielle Biomasse nimmt hier über die Tiefen nach unten deutlich ab. In den Fruchtfolgen 4 und 5 ist die mikrobielle Biomasse etwas geringer ausgefallen als bei den Fruchtfolgen 1 und 3. Der $q\text{CO}_2$ errechnet sich aus der Basalatmung und dem Gehalt an mikrobieller Biomasse im Boden.

Er spiegelt die Effizienz der mikrobiellen Substratnutzung wider. Je niedriger der qCO_2 ist, umso effizienter sind die mikrobiellen Umsatzleistungen. Dabei wird der physiologische Zustand durch den Ernährungszustand der Mikroorganismen und eventuellen Stressbedingungen bestimmt.

Für die Pflugvariante konnte ein qCO_2 zwischen 4,7 und 6,1 berechnet werden, wobei hier über die drei Tiefen eher eine homogene Verteilung zu erkennen ist. Bei der Minimalbodenbearbeitung lag der qCO_2 zwischen 3,5 und 5,3 mit deutlich höheren Werten in den Tiefen 10 - 20 und 20 - 30 cm.

Der jährliche Einsatz des Pfluges führte zur Durchmischung des Bodenkörpers und zu einer stärkeren Verteilung der Ernterückstände. Die organische Bodensubstanz wurde dabei bis in 30 cm Bodentiefe verteilt und den Mikroorganismen zugänglich gemacht. In der Minimalbodenbearbeitungsvariante konnte über die Bodentiefen ein Anstieg des metabolischen Quotienten beobachtet werden. Die erhöhten metabolischen Quotienten lassen auf eine stärkere Belastung (Stresssituation) schließen. Als Ursache wären hier eine verminderte Durchlüftung bzw. die Umstellung der Bodenbearbeitung zu nennen. Unter diesen zum Teil ungünstigen Bedingungen, benötigen die Mikroorganismen mehr Energie, um ihre Biomasse aufrecht zu erhalten.

Mit dem Bezug des mikrobiellen Kohlenstoffs auf den organischen Kohlenstoff (C_{mic}/C_{org} -Verhältnis) wird ausgedrückt, wie hoch der aktive, gut umsetzbare Anteil an Kohlenstoff ist. Das C_{mic}/C_{org} -Verhältnis kann als Indikator für die mikrobielle Verfügbarkeit der organischen Substanz betrachtet werden und verdeutlicht, in welchem Ausmaß die Mikroorganismen den Bodenkohlenstoff zum Aufbau und Erhalt ihrer Biomasse nutzen. Die Ergebnisse des C_{mic}/C_{org} -Verhältnisses sind in der Verteilung mit der mikrobiellen Biomasse vergleichbar.

Für die Pflugvariante konnte in der Krumentiefe 0 - 30 cm ein stabiles C_{mic}/C_{org} -Verhältnis ermittelt werden. Hier traten Werte zwischen 1,0 und 1,8 auf. An dieser Stelle hat sich ein Humusgleichgewicht eingestellt, d.h. auch die unteren Bodenschichten wurden durch das Unterpflügen der Erntereste mit organischer Substanz versorgt. Der Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung verdeutlicht eine starke Differenzierung zwischen der Bodentiefe 0 - 10 cm und den unteren Bodenschichten (10 - 20, 20 - 30 cm). Der hohe C_{mic} -Gehalt im Oberboden, bedingt durch den größeren C-Input in Form von Pflanzenmaterial, führte zu einem erhöhten C_{mic}/C_{org} -Verhältnis. Dies lässt auf einen gesteigerten Umsatz der mikrobiellen Biomasse schließen. Die Werte lagen zwischen 1,8 und 2,1.

Die Messung individueller Enzymaktivitäten kann Aufschluss über spezifische Nährstoffkreisläufe oder Abbauprozesse im Boden geben. Die Enzyme sind am Abbau organischer Substanzen beteiligt, sind des Weiteren wichtig für Umwandlungs- und Mineralisierungsprozesse und Indikatoren für den metabolischen Zustand der mikrobiellen Biomasse. Sie spiegeln sehr deutlich die nutzungsbedingten Eingriffe des Menschen wider und zeigen langfristige Veränderungen in der biologischen Aktivität des Bodens an. Zur Kennzeichnung der Mikrobenverhältnisse eignet sich gut die Katalase, da im Boden vor allem aerobe Mikroorganismen vorkommen. Zur Charakterisierung der biologischen Aktivität ist es sinnvoll, den Zelluloseabbau anhand der β -Glucosidaseaktivität zu bestimmen. Bei der Bodenbearbeitung mit dem Pflug wurden Katalasezahlen zwischen 6,4 und 8,0 ermittelt, wobei der höchste Wert in der Fruchtfolge 1 erreicht wurde und sich die Fruchtfolgen 3, 4 und 5 auf einem ähnlichen Niveau befinden. Für die Minimalbodenbearbeitung ergibt sich ein ähnliches Bild, jedoch liegen hier die Werte zwischen 7,7 und 11,2. Höhe Katalasezahlen konnten vor allem in der Bodenschicht 0 - 10 cm ermittelt werden. Die β -Glucosidaseaktivität erreicht bei der Pflugvariante Werte zwischen 23,3 und 42,5 μg Saligenin g^{-1} TS, wohingegen bei der nicht wendenden Bodenbearbeitung die Werte zwischen 41,6 und 55,7 μg Saligenin g^{-1} TS lagen. Die Enzymaktivitäten (Katalase, β -Glucosidase) können über ein Klassifizierungssystem bestimmten Werteklassen zugeordnet werden (Tischer und Altermann, 1992, Anhang 2). So ergeben sich für die Bodenbearbeitung mit dem Pflug im gesamten Krumenbereich ein niedriger Katalasegehalt und eine niedrige bis mittlere β -Glucosidaseaktivität. Bei der Minimalbodenbearbeitung muss zwischen den einzelnen Tiefen unterschieden werden. Die Bodenschicht 0-10 ist durch eine mittlere bis hohe Enzymaktivität charakterisiert, wohingegen in den tieferen Bodenschichten (10 - 20, 20 - 30 cm) niedrige Katalase- und mittlere β -Glucosidasegehalte bestimmt wurden.

Die nicht wendende Bodenbearbeitung führte zu einer deutlichen Differenzierung zwischen den einzelnen Bodenschichten. Hauptursache ist die unterschiedliche Verteilung der organischen Masse im gesamten Krumenbereich. Bei der nicht wendenden Bodenbearbeitung kam es zur Anreicherung von leicht verfügbarer organischer Substanz im oberen Bereich, die zu einer Aktivitätssteigerung der Mikroorganismen führte und folglich zur Zunahme von mikrobiell resistenten Huminstoffen. Es ist an dieser Stelle von einem stabilen System auszugehen, welches eine positive Wirkung auf die Aggregatstabilität und die Bodengare hat.

8 LITERATUR

Tischer, S.; Altermann, M. (1992): Veränderung der mikrobiologischen Aktivität durch Wechsel der Bodennutzung – Ergebnisse aus dem ehemaligen Grenzstreifen. VDLUF-Schriftenreihe 35, S. 559-562

9 ANHANG

Anhang 1: Ergebnisse Bodenmikrobiologische Untersuchungen

	Herbst 2008			
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	MW
	ph-Wert			
P1	5,97	6,02	6,11	6,03
P3	5,96	5,89	5,89	5,91
P4	5,69	5,79	5,72	5,73
P5	5,72	5,71	5,8	5,74
M1	6,31	6,39	6,11	6,27
M 3	6,18	6,29	6	6,16
M 4	6	5,98	5,99	5,99
M 5	6,09	6,06	6,12	6,09
	C_{org}-Gehalt (%)			
P1	1,1	1,17	1,06	1,11
P3	1,05	1,03	0,93	1,00
P4	1,04	1,05	0,98	1,02
P5	1,03	1,05	0,97	1,02
M1	1,21	1,15	1,16	1,17
M 3	1,17	1,11	1,05	1,11
M 4	1,13	1,01	1,02	1,05
M 5	1,14	0,97	0,89	1,00
	Mikrobielle Biomasse (µg Cg⁻¹ TS)			
P1	208,94	210,17	181,39	200,17
P3	187,58	181,6	143,79	170,99
P4	173,28	196,84	143,53	171,22
P5	163,4	173,05	161,97	166,14
M1	345,96	231,59	179,52	252,36
M 3	319,15	213,44	165,47	232,69
M 4	275,48	182,7	144,38	200,85
M 5	292,48	191,44	128,65	204,19
	Metabolischer Quotient			
P1	4,38	4,46	5,26	4,70
P3	5,03	5,74	6,32	5,70
P4	5,89	5,83	6,71	6,14
P5	6,06	5,78	6,11	5,98
M1	3,45	4,42	4,7	4,19
M 3	3,13	3,55	4	3,56
M 4	4,1	6,01	5,88	5,33
M 5	4,29	5,32	6,49	5,37
	C_{mic}/C_{org}-Verhältnis (%)			
P1	1,9	1,8	1,71	1,80
P3	1,79	1,76	1,55	1,70
P4	1,67	1,87	1,53	1,69
P5	1,59	1,65	1,67	1,64
M1	2,86	2,01	1,55	2,14
M 3	2,73	1,92	1,58	2,08
M 4	2,44	1,81	1,42	1,89
M 5	2,57	1,97	1,45	2,00

Fortsetzung Anhang 1: Ergebnisse Bodenmikrobiologische Untersuchungen

Herbst 2008				
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	MW
Arginin-Ammonifikation				
P1	1,48	1,66	1,25	1,46
P3	1,51	1,33	1,13	1,32
P4	1,31	1,62	1,27	1,40
P5	1,4	1,44	1,48	1,44
M1	2,5	1,88	1,48	1,95
M 3	2,37	1,66	1,6	1,88
M 4	1,64	1,37	1	1,34
M 5	1,88	1,18	0,68	1,25
β-Glucosidase				
P1	40,18	42,95	44,38	42,50
P3	44,87	45,82	35,7	42,13
P4	25,55	33,22	11,59	23,45
P5	24,75	24,12	21,18	23,35
M1	53,31	60,97	35,32	49,87
M 3	60,27	29,79	34,79	41,62
M 4	62,37	44	42,84	49,74
M 5	80,4	48,79	37,91	55,70
Katalasezahl				
P1	10,6	8	5,6	8,07
P3	5,9	7,4	5,8	6,37
P4	7	8,7	5	6,90
P5	6,8	6,6	6	6,47
M1	19,2	8,1	6,5	11,27
M 3	11,8	9	5,1	8,63
M 4	10,9	6,8	5,4	7,70
M 5	12,6	6,8	4,9	8,10
alkalische Phosphatase				
P1	72,3	88,2	71,2	77,23
P3	50,4	56,3	45,7	50,80
P4	34,2	57,3	38,2	43,23
P5	40,5	41,7	35,3	39,17
M1	151,7	122,8	102	125,50
M 3	100,3	89,2	82,3	90,60
M 4	102,5	82,3	56,8	80,53
M 5	97,3	62,2	53,3	70,93

Anhang 2: Klassifizierungssystem von Enzymaktivitäten (Tischer)

Bewertung	Werteklasse	Katalasezahl	β-Glucosidaseaktivität
sehr niedrig	1	< 3,0	<20
niedrig	2	3,1-8,9	21-39
mittel	3	9,0-15,9	40-59
hoch	4	16,0-20,9	60-79
sehr hoch	5	21,0-80,0	>80